

УДК 621.311.2: 65.011.56

Т. И. БЫКОВА, старший преподаватель

Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков

## РЕНОВАЦИЯ ЭНЕРГОБЛОКОВ ТЭС И АЭС ПУТЕМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ИХ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

*В статье рассмотрены вопросы реновации энергоблоков ТЭС и АЭС путем внедрения автоматического диагностирования низкопотенциальных комплексов турбинных установок (АСТД).*

*У даній статті розглянуті питання реновації енергетичних блоків ТЕС і АЕС шляхом впровадження автоматичного діагностування низько потенціальних комплексів турбінних устаткувань (АСТД).*

### Введение

Одним из реальных способов повышения надежности энергоблоков АЭС является совершенствования системы управления их низкопотенциальным комплексом (НПК) [1]. При этом НПК рассматривается как сложная технологическая подсистема, являющаяся одной из важнейших в общеплодной системе. Предлагается концепция повышения надежности и эффективности работы энергоблоков АЭС на основе двуединого метода – решения проблемы совместимости оборудования и систем обеспечения, и создания для них автоматизированных систем управления на базе оперативного технического диагностирования.

### Основная часть

С этой целью разработаны и опробованы [2]:

- методика определения несовместимости оборудования НПК и обеспечивающих систем;
- концепция систем автоматизированной оперативной технической диагностики (как автономных, так и в структуре АСУТП энергоблока);
- методика оценки изменения состояния элементов НПК, предупреждения и ликвидации отказов.

Диагностирование такой сложной технической системы как турбоустановка сводится к установлению некоторых величин – диагностических признаков  $F_j (j = \overline{1, m})$ , которые связаны с параметрами функционирования  $x_i (i = \overline{1, n})$  следующими зависимостями:

$$F_1 = F_1(x_1, \dots, x_n) \quad (1)$$

$$F_m = F_m(x_1, \dots, x_n) \quad (2)$$

В свою очередь, основные показатели эффективности, надежности. Ресурса работы энергоблока зависят соответственно от диагностических признаков:

$$\text{КПД}_{\text{эм}} = \text{КПД}_{\text{эм}}(F_1, \dots, F_m) \quad (3)$$

$$K_{\text{н}} = K_{\text{н}}(F_1, \dots, F_m) \quad (4)$$

$$R = R(F_1, \dots, F_m) \quad (5)$$

При отключении диагностических признаков или измеряемых значений ( $\Delta F_j$  или  $\Delta x_j$ ) от нормативных можно определить изменение соответствующих характеристик в зависимости от реальных условий эксплуатации энергоблока:

$$\Delta K\Pi\mathcal{L}_{\text{gen}} = K\Pi\mathcal{L}_{\text{gen}}(\Delta F_1, \dots, \Delta F_m) \quad (6)$$

$$\Delta K_{\pi} = K_{\pi}(\Delta F_1, \dots, \Delta F_m) \quad (7)$$

$$\Delta R = R(\Delta F_1, \dots, \Delta F_m) \quad (8)$$

На данном этапе решения общей задачи предлагается комплексный подход к разработке одной из важнейших составляющих общей системы диагностики – анализу и обработке эксплуатационных характеристик работы ПНК с целью определения его основных диагностических признаков.

Для условий работы НПК диагностическая модель может быть записана в виде:

$$P_k = P_k(F_1, \dots, F_m) \quad (9)$$

$$\mathcal{S}_\tau = \{F_1, \dots, F_m\} \quad (10)$$

$$\Delta t_s = t_s(F_1, \dots, F_m) \quad (11)$$

где  $F_1, \dots, F_m$  – диагностические признаки (технические, технологические, климатические), оказывающие основное влияние на условия работы НКП, в том числе и фактор времени;

$P_k$  – давление в конденсаторе;

$\Delta t_n$  – температурный напор конденсатора;

$\Delta t_c$  – нагрев охлаждающей воды.

Основными составляющими НКП являются следующие подсистемы [1]:

– технического водоснабжения, включающая в себя источники водоснабжения, циркуляционные насосы и систему водоводов;

– конденсационные установки, состоящие из конденсаторов, конденсатных насосов и воздухоудаляющих устройств (эжекторов).

Авторами проведен детальный анализ реальных условий эксплуатации НПК на энергоблоках ЗаАЭС за последние годы. В работе использованы статистические данные лаборатории надежности ЗаАЭС.

В перечень поставленных задач входили следующие:

1. Конденсатор и эжекторная установка – сравнение фактических и нормативных значений вакуума, температурного напора, переохлаждение конденсата, нагрева воды, гидравлического и парового сопротивления, присосов воздуха и производительности эжекторов.

2. Насосные установки (циркуляционные и конденсатные) и трубопроводы системы технического водоснабжения – определение фактических характеристик и оптимизация режимов работы насосов, анализ и выяснение возможных причин отклонений в работе насосов, оптимизация включения и параметров эксплуатации циркуляционных насосов и водоводов.

## Основные результаты исследований

## Конденсатор и эжекторная установка

Анализ графиков среднесуточной нагрузки (плановой и фактической) энергоблоков ЗаАЭС в разрезе года показывает, что основные причины снижения нагрузки (не считая разгрузений, связанных с возникновением аварийных ситуаций или работы на мощностном эффекте), определяются условиями работы НПК – повышением температуры охлаждающей воды и отклонением давления пара в конденсаторе от нормального значения. Недовыработка электрической энергии по этим причинам в 2003 году по блокам № 1-6 ЗаАЭС составила, соответственно, 102,7; 112,4; 184,3; 169,4; 157,8 и 125,4 млн.кВт.час. Это предопределяет то, что в условиях работы энергоблоков АЭС вопросы энергосбережения, повышения надежности и долговечности в первую очередь необходимо изыскивать в системе НКП.

На рисунке в разрезе годового временного периода представлены изменения давления в конденсаторе  $P_k$ , температуры охлаждающей воды  $t_{у.в}$ , нормативного и фактического температурного напоров  $\delta t_n$  и  $\delta t_{\phi}$  и недобора мощности  $\Delta N_3$ , связанного с отключениями условий работы конденсатора. Приведенные данные свидетельствуют о том, что основной причиной повышения давления в конденсаторе и потери мощности является рост фактического температурного напора. Так, при нормативном значении  $\delta t_n = 2 - 4^\circ\text{C}$ , фактический температурный напор  $\delta t_{\phi}$  достигал  $6 - 14^\circ\text{C}$ , что приводит к недовыработке электрической мощности  $18 - 26$  МВт. Определенно, что при различных условиях эксплуатации, отключение температурного напора на  $1^\circ\text{C}$  приводит к снижению мощности энергоблока ЗаАЭС от 3 до 17 МВт.

С ростом температуры охлаждающей воды недобор мощности резко возрастает из-за разгрузки энергоблока для выдерживания ограничений по давлению в конденсаторе. Так, например, при температуре охлаждающей воды  $26^\circ\text{C}$  и разности температурных напоров  $13 - 14^\circ\text{C}$  недобор мощности составит  $200$  МВт, а при разности  $30^\circ\text{C}$  –  $570$  МВт. Поэтому, для исключения разгрузки энергоблока по условиям вакуума в конденсаторе разность нормативного и фактического температурного напоров не должна превышать  $6^\circ\text{C}$ , что не всегда выдерживается в процессе эксплуатации.

В целях снижения фактического температурного напора, что подтверждается опытом эксплуатации энергоблоков ЗаАЭС за последние годы, эффективно применение шариковой очистки конденсаторных трубок, наличие фильтров предочистки, применение новой технологии антикоррозионной защиты трубных досок и входных участков трубного пучка.

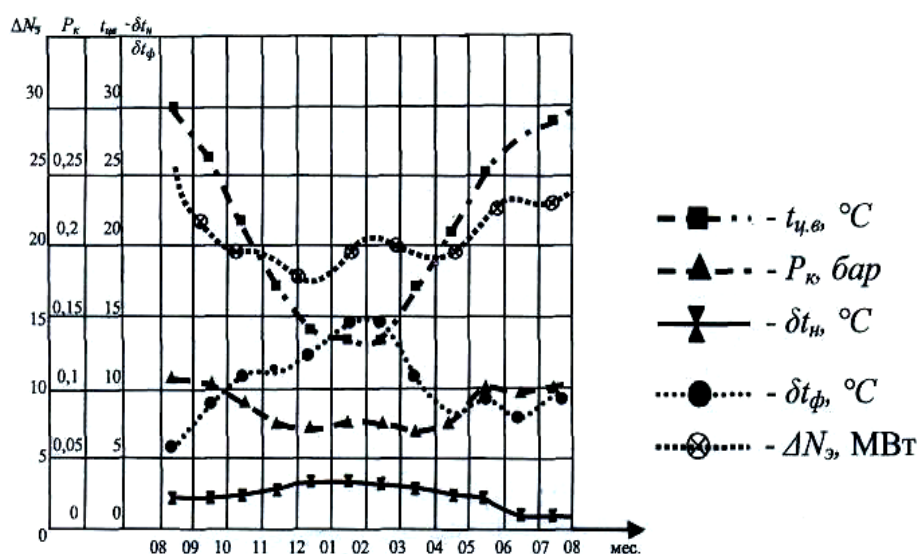


Рисунок. Основные показатели работы конденсатора блока ЗаАЭС в разрезе года

Кроме того, предлагается усилить контроль гидравлической плотности конденсатора, т. к. из-за микроприсосов охлаждающей воды происходит нарушение вводно-химического режима второго контура, вследствие чего отключается система шариковой очистки и снижается мощность энергоблока.

В работе эжекторной установки в процессе эксплуатации принципиальных нарушений не выявлено. Однако есть замечания связанные с недостатками работы пускового эжектора, которые заключаются в основном с конструктивными недоработками:

- заниженный КПД установки;
- затруднительное создание глубокого вакуума;
- потеря теплоты рабочего пара.

Таким образом, основные диагностические признаки конденсатора по их значимости устанавливаются следующими:

- температурный напор конденсатора;
- нагрев охлаждающей воды;
- переохлаждение конденсата;
- присосы воздуха в вакуумную систему;
- присосы охлаждающей воды;
- гидравлическое и паровое сопротивление конденсатора.

Циркуляционные (конденсатные) насосы, конденсатный тракт и система технического водоснабжения

Проведенный анализ работы этих подсистем НПК показал, что основными нарушениями, отказами являлись следующие:

- напорные циркуляционные насосы покрыты слоем минеральных отложений и продуктов коррозии, которые выносятся потоком воды на трубные доски и в трубки конденсаторов (скорость отложения на трубных досках достигает 0,2 мм в месяц);
- рост сопротивления участков системы технического водоснабжения;
- появления признаков помпажного режима в циркуляционных насосах;
- не всегда обеспечивается стабильная форма напорной характеристики при параллельной работе насосов;
- имели случаи срывов насосов, снижение производительности, подсосы воздуха в вакуумную систему конденсаторного тракта.

Так, например, несоответствие угла поворота лопастей циркуляционных насосов на 2–4° (что практически всегда имеет место) приводит к снижению КПД насоса до 4 % и при этом происходит выход за рабочую область работы насоса. Несоответствие расхода охлаждающей воды (по данным исследований – до 40 т/ч) требуемой кратности охлаждения приводит к потере мощности энергоблока до 10 МВт.

В ряде случаев отказы в системе технического водоснабжения или основного конденсата приводили к частичной разгрузке (до 50 %) или полному останову энергоблоков с соответствующей недопроизводкой электрической энергии.

Основные диагностические признаки по данной системе оборудования.

Циркуляционная система:

- давление охлаждающей воды на напоре циркуляционных насосов (определяет повышение гидравлического сопротивления конденсатора);
- расход охлаждающей воды (определяется из теплового расчета конденсатора, характеризует степень загрязнения трубного пучка);
- частота вращения и положение лопастей циркуляционных насосов;
- потребляемый ток приводных двигателей циркуляционных насосов;
- рабочие характеристики насосов;
- гидравлическое сопротивление циркуляционной системы (определяет состояние очистных сеток, фильтров, трубопроводов, выходных и поворотных камер конденсаторов).

Система основного конденсата:

- содержание кислорода за КЭН-1 (определяется присосы воздуха по тракту);
- электропроводность основного конденсата или содержание в нем натрия (определяет присосы охлаждающей воды или воздуха; качество подпиточной химобессоленной воды; вынос продуктов коррозии материалов второго контура; правильность технологии регенерации ионообменных установок);
- расход и давление основного конденсата на входе и выходе насоса (определяет зону работы насоса).

Для дальнейшего анализа условий эксплуатации НПК и включения в подсистему его диагностирования, в таблице представлены нормативные значения основных диагностических признаков конденсационной установки энергоблока мощностью 1000 МВт ЗаАЭС на

номинальной нагрузке.

Подключение данной подсистемы в общую АСУТП энергоблоков позволяет не только распознать отклонения на ранней стадии их появления, но и улучшить общие эксплуатационные показатели работы турбоустановки. Хорошо функционирующая система диагностики, естественно, предполагает оснащение всего НПК необходимой современной первичной контрольно-измерительной аппаратурой.

В этой подсистеме очевидны возможности для дальнейшей реализации связи диагностики с автоматическим управлением (без вмешательства оперативного персонала) того или иного узла НПК. Пока все же необходимые действия по регулированию, управлению и защите отделены от общей системы диагностики (таблица).

Таблица

Диагностический признак	Размерность	Значение
Абсолютное давление в конденсаторе, не более	кПа	9,0
Уровень в конденсатосборниках, не более не менее	мм	2400 1500
Гидравлическое сопротивление конденсатора, не более	Мпа	0,075
Избыточное давление циркуды на входе в конденсаторы, не менее	Мпа	0,1
Нагрев циркуды, не более	°С	12
Температурный напор конденсаторов, не более	°С	9
Величина переохлаждения конденсата, не более	°С	2
Температура основного конденсата на входе в БОУ, не более	°С	45
Величина присосов воздуха в конденсаторы, не более	кг/ч	100
Содержание кислорода в основном конденсате	мкг/л	30
Жесткость основного конденсата, не более	мкг-экв/л	0,5
Электропроводность основного конденсата на входе в БОУ, не более	мкСм/см	0,3
Давление основного конденсата на напоре КЭН 1-й ступени, не менее	МПа	0,7
Температура основного конденсата перед эжекторами, не менее	°С	40
Давление рабочего пара перед эжекторами, не менее	МПа	0,4
Абсолютное давление, создаваемое эжектором уплотнений	МПа	0,095-0,096
Разность давлений в конденсаторе и трубопроводах отсоса паровоздушной смеси к основным эжекторам, не более	кПа	5,0
Температура неконденсирующих газов на выхлопе эжекторов, не более	°С	72

### Выводы

1. Одним из вариантов реновации действующих энергоблоков ТЭС и АЭС может быть

внедрение систем автоматизированного диагностирования НПК.

2. Приведены способы разработки и внедрения АСТД в НПК, по отдельным подсистемам (конденсаторы, эжекторные установки, циркуляционные и конденсатные насосы, система основного конденсата, циркуляционная система).

3. В таблице приведены диагностические параметры (температуры, давления и др.) подсистем и элементов НПК.

#### Список литературы

1. Шелепов И. Г., Заруба В., Яцкевич С. В. «Теплоэнергетические установки электростанций». Киев. – 1993. – 198 с.

2. Кострыкин В. А., Шелепов И. Г. «Определение и исследование диагностических признаков НПК энергоблоков АЭС». Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 6/2 (18). – 2005. – С.149 – 152.

### RENOVATION OF THERMAL POWER PLANTS AND NUCLEAR POWER PLANTS BY DIAGNOSIS LOW POTENTIAL COMPLEXES

T. BYKOVA, senior teacher

*In article questions related to the renovation of thermal and nuclear power plants by introduction of automatic diagnosis low potential complexes of turbine.*

Поступила в редакцию 18.04 2011 г.